

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Venealan koulutusohjelma

Mikko Raittila

HYDROKOPTERIN KEHITYSPROJEKTI KONSEPTISUUNNITTELUSTA PRO-  
TOTYYPiksi

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Venealan koulutusohjelma

RAITILA, MIKKO

Hydrokopterin kehitysprojekti konseptisuunnittelusta prototyypiksi.

Opinnäytetyö

46 sivua

Työnohjaaja

Lehtori Tapio Philjerta

Toimeksiantaja

Angel Trading Oy

Avainsanat

hydrokopterit, meripelastus, kelirikkoalukset, konseptisuunnittelu

Suomen suuren, asutun saariston takia eri toimijoiden täytyy päästä liikkumaan merellä ja järvillä kaikkina vuodenaikoina. Keväisin ja syksyisin on aikoja, jolloin jää ei kestä ihmisen painoa eikä veneellä pääse. Tällöin saariston asukkaat ovat perinteisesti pysytelleet kodeissaan. Viranomais- ja pelastustehtävissä odottamisen mahdollisuutta ei ole.

Hydrokoptereita käytetään maailmalla olosuhteissa, joissa liikutaan syvän veden lisäksi muissakin ympäristöissä. Ilmapotkuri on luonteva valinta kelirikkoaluksen propulsioksi, koska se ei ole riippuvainen alustastaan ja potkurin väliaine on olosuhteista riippumatta lähes sama.

Opinnäytetyössä esitellään konseptisuunnittelu- ja tuotekehitysprojektin, jonka lopputuloksena saadaan täysin uudentyyppinen kelirikkoalus viranomaiskäyttöön. Työssä käsitellään uudentyyppisen tuotteen määrittäminen sekä konseptin kehittäminen prototyypin rakentamiseen ja testaamiseen asti.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSO AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Boat manufacturing engineering

RAITILA, MIKKO

Airboat development for conceptual design to prototype.

Bachelor's Thesis

46 pages

Instructor

Tapio Philjerta

Comissioned

Angel Trading Ltd

Keywords

Airboat, search and rescue, conceptual design

Scandinavian winters along with Finland's large archipelago make it compulsory for many people to commute often during any time of the year. There are circumstances when it is not possible to use boats due to the weather conditions and thickness of ice whether it may be too thick to use a boat or too thin to walk on or use snowmobiles. Hence people who live in the archipelago traditionally stay at home during all changes of the season, with the exception of summer when the weather conditions are more favourable. In an emergency situation time is of the essence; hence the use of alternative transportation is necessary.

Airboats are an alternative and versatile form of transport that work both on deep water and many other surfaces in different conditions. These airboats work the same way on surfaces such as ice, swamp, water etc; due to its airpropeller which is its form of propulsion.

This Bachelor's Thesis proposes the research and development of a project which represents a new form of rescue vehicle that is by far a more reliable way to bring help to where it is needed. The thesis includes the concept, the development and construction process and the initial trials of the proposed airboat.

# Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Projektin kuvaus ja toimijat.....	6
1.2 Mikä on hydrokopteri ?.....	7
1.3 Historia.....	8
2 KONSEPTISUUNNITTELU.....	9
2.1 Suunnittelun eteneminen.....	9
2.2 Menetelmät.....	9
2.3 Lähtötiedot.....	9
2.3.1 Teemahaastattelut.....	10
2.3.2 Arctic Antin koeajo ja Pohjois-Savon pelastuslaitos .....	11
2.3.3 Kainuun pelastuslaitos.....	13
2.3.4 Referenssiaineisto .....	13
2.4 Vaatimukset.....	16
2.4.1 Asiakaslähtöiset vaatimukset.....	16
2.4.2 Käyttöolosuhteiden asettamat vaatimukset.....	16
2.4.3 Erityisvaatimukset pelastuskäyttöön.....	18
2.4.4 Lakisääteiset vaatimukset .....	18
3 ARCTIC AIRBOAT.....	19
3.1 Suunnittelun reunaehdot.....	19
3.2.1 Jään aiheuttamien iskujen vaimennus rungossa.....	19
3.2.2 Joustoelementti rungon alla.....	21
3.2.3. Jousitetut ponttonit tai sukset.....	22
3.3. Kulkuvastuksen pienentäminen ja huippunopeuden kasvattaminen vedessä.....	23
3.3.1 Kulkuvastus yleisesti.....	23
3.3.2 Kulkuvastuksen vähentäminen.....	25
3.4 Ohjattavuus kovalla alustalla.....	25
3.4.1 Ohjauksen toteuttamisvaihtoehdot.....	25
3.4.2 Sivuttaispito.....	26
3.5 Materiaalit.....	27
3.5.1 Materiaalien edut, huonot puolet ja mahdollisuudet.....	27
3.5.2 Valmistusmenetelmien edut, huonot puolet ja mahdollisuudet.....	28
3.5.3 Eri käyttökohteiden erityispiirteet.....	29
3.5.3.2 Runko .....	30
3.5.4 Materiaalit olemassa olevissa hydrokoptereissa.....	31
.....	31
4 PROTOTYYPPI.....	32
4.1 Runko.....	32
4.2 Ponttonit.....	35
4.3 Hytti.....	35
4.4 Tukivarret.....	35
4.5 Tekniikka.....	36
4.6 Rakentaminen.....	38
5 LUJUUSVAATIMUKSET.....	38
5.1 Kuormitustilanteet.....	38

5.2 Laskennalliset maksimikuormat.....	38
5.3 Mitoitustyökalut.....	39
5.4 Rakenteen erityisvaatimukset.....	39
5.5. Lujuushierarkia.....	39
6.1 Muutokset ensimmäisten koeajojen perusteella.....	42
6.2 Jääkoeajot.....	42
6.3 Uudet ponttonit.....	43
7 YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET.....	46

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Projektin kuvaus ja toimijat

Työ aloitettiin syksyllä 2005 Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tutkimus- ja tuotekehitysyksikössä, KymiDesignissa. Toimeksiantaja Henrik Pearsch Angel Trading Oy:stä oli tätä ennen rakentanut jo yhden hydrokopterin yhdessä Juha Snell Oy:n kanssa. Projektin aikana perustettiin uusi yritys Arctic Airboats Oy, jonka toiminta perustuu hydrokopterin kehitykseen, valmistukseen ja markkinointiin.

Lähtökohtana uudentyyppisen hydrokopterin kehittämiseksi oli elokuvaaja, elokuva-alan yrittäjä Henrik Paerschin tarve pystyä kulkemaan Suomen saaristossa ympäri vuoden ja kuljettaa raskasta kuvauskalustoa kustannustehokkaasti kuvauspaikoille.

Paersch oli koeajanut useita ilmatyynyaluksia ja olemassa olevia hydrokoptereita, joista mikään ei kuitenkaan ollut ominaisuuksiltaan sopiva ja hinnaltaan järkevä. Hänellä oli myös kokemusta vesitasolla lentämisestä ja prototyypin rakentamisen aikaan Paersch hankki amphibiomönkijän. Nämä kokemukset olivat pohjana näkemykselle siitä, millainen tulevan kulkuneuvon pitäisi olla. Tavoitteena oli siis suunnitella riittävän suuri ja tehokas hydrokopteri, joka pystyisi liikkumaan turvallisesti ja nopeasti sekä lumessa, jäällä, vedessä että näiden erilaisissa yhdistelmissä.

KymiDesignissa suunnittelutehtävään osallistuivat lisäksi veneinsinööri Ari Haapanen, teollinen muotoilija Teuvo Karvonen, taiteiden maisteri Ari Utriainen sekä muotoilun opiskelija Mikko Määttänen. Lisäksi suunnitteluun osallistukivat vahvasti tilaaja Henrik Paersch, prototyypin valmistajien edustajat Juha ja Jani Snell Juha Snell Oy:stä, Patrik Salin RS-suunnittelu Oy:stä ja Ben Bergman Peltisepänliike Lindström Oy:stä. Loppuvaiheessa mukana olivat myös Karl Johan Stråhlmann, Arttu Mylläri ja Ville Valtonen Stråhlmann Yacht Design Oy:stä

Suunnittelussa otettiin kohderyhmäksi eri viranomaistahot, koska viranomaisilla kelirikkoaluksen tarve on ilmeinen ja eri viranomaisilla on monentyyppisiä kelirikkoaluksia käytössään. Toisaalta laite, joka toimii pelastusviranomaisten,

puolustusvoimien, luotsien ja merivartijoiden käytössä, on helppo muokata yksityishenkilöiden käyttöön sopivaksi.

KymiDesignissa muotoilu ja käytettävyys olivat iso osa selvitystä tehtäessä, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään teknisiin ratkaisuihin ja niihin johtaneeseen tutkimukseen. Työssä pyritään tuomaan esiin rakenneratkaisuihin johtaneita seikkoja. Varsinainen laskenta ja yksityiskohtainen suunnittelu jätetään työn ulkopuolelle. Työ jakautuu kahteen vaiheeseen: konseptisuunnitteluun, jossa määritellään tuote, ja prototyypin suunnitteluun, joka keskittyy rakennesuunnitteluun, materiaalitekniikkaan ja tuotantomenetelmäsuunnitteluun.

## 1.2 Mikä on hydrokopteri ?

Hydrokopterin käsite on osittain paikkasidonnainen. Amerikkalaiset määrittelevät hydrokopterin (*engl. airboat*) tasapohjaiseksi, ilmapotkurilla liikkuvaksi suoalukseksi, jota ohjataan ilmaperäsimillä. Airboat-sanaa on käytetty vanhemmissa ilmailuaiheisissa teoksissa tarkoittamaan lentovenettä, (nykyisin *air boat*). Englanninkielisissä julkaisuissa esiintyy myös muoto *hydrocopter*, joka useimmiten viittaa suomalaistyyppisiin hydrokoptereihin, jotka on tarkoitettu ensisijaisesti kulkemaan jäällä. Suomessa ja muissa Pohjois-Euroopan maissa (*ruots., saks. hydrokopter*) sekä Venäjällä hydrokopteri mielletään useimmiten kelirikko- tai jääalukseksi.

Uusi suomenkielen sanakirja määrittää hydrokopterin seuraavasti: *vedessä, lumessa ja jäällä kulkeva potkurikäyttöinen, peräsimellä ohjattava laite.* (Nurmi 1998).

Suomen lainsäädäntö ei hydrokopteria tunne, mutta se katsotaan rinnastettavan huviveneeksi yksityiskäytössä (Patrakka 2006).

Yleisesti hydrokopteri-nimeä käytetään kaikista ilmapotkurilla liikkuvista aluksista riippumatta siitä, miten niitä ohjataan, pois lukien ilmatyynyalukset.

### 1.3 Historia

Ensimmäisen tunnetun hydrokopterin, Ugly Ducklingin, suunnitteli ja rakensi Alexander Graham Bell työryhmineen vuonna 1905 Nova Scotiassa Kanadassa. Bellin työtoveri Glenn Hammond Curtis jatkoi kehittelyä ja rekisteröi ensimmäisen hydrokopterin Floridassa 1920. (Wikipedia)

1930-luvulla itse rakennetut hydrokopterit yleistyivät Floridan ja Louisianan suoalueilla. Ensimmäisenä kaupallisena hydrokopterivalmistajana mainitaan Leo Yang, joka myi hydrokoptereita ympäri maailman, pääasiassa USA:han. Nykyisellään USA:ssa ja Kanadassa on kymmeniä pieniä hydrokopterivalmistajia. (Wikipedia)

Suomessa hydrokoptereiden historia alkaa talvisodasta, jolloin venäläisiltä sotasaaliiksi saatuja ”lentokelkkoja” alettiin kehittää edelleen. Kelkat olivat ilmapotkurin kuljettamia, suksilla varustettuja jääkiitäjiä, jotka eivät pystyneet liikkumaan vedessä. 1950-luvun puolivälissä Nils Eriksson rupesi kehittämään kelirikkoalusta saariston olosuhteisiin. Eriksson oli ollut mukana sota-aikana puolustusvoimien lentokelkkahankkeessa. Eriksson on myös tietävästi ensimmäinen, joka käytti hydrokopteri-nimeä. Hän valmisti 1970- ja 1980-luvuilla muutamia kymmeniä Amphibian-merkkisiä hydrokoptereita pääasiassa viranomaiskäyttöön. (Tiilikainen 1998, 24)

Itse rakennettuja hydrokoptereita on Suomen saaristossa ja rannikoilla arviolta useita satoja. Ne ovat pääasiassa pieniä tasapohjaisia avoveneitä, joissa on auton moottori pyörittämässä kaksilapaista potkuria. Jo 1960-luvulla puuseppä Atte Hakkarainen rakensi Joensuussa lämmitetyllä hytillä ja neljällä erillisjousitetulla suksella varustetun, nykymittapuullakin modernin hydrokopterin. (Karjalainen 28.1.2008, 5)



## 2 KONSEPTISUUNNITTELU

### 2.1 Suunnittelun eteneminen

Tuotteen määrittämiseksi koottiin monipuoliset lähtötiedot, joiden avulla määritettiin suunnittelutavoitteet. Tavoitteiden asettamisen jälkeen alettiin tutkia erilaisia vaihtoehtoja ja ratkaisuja tavoitteiden täyttämiseksi. Hyvien alkutietojen ansiosta voitiin alusta alkaen viedä suunnittelua eteenpäin ongelmakeskeisesti etsien ratkaisuja tunnettuihin ongelmiin.

### 2.2 Menetelmät

Konseptisuunnittelussa lopputulos on usein riippuvainen suunnittelijan omista näkemyksistä ja mielipiteistä. Tästä pyrittiin pääsemään eroon keräämällä mahdollisimman suuri lähtöaineisto ja analysoimaan sitä objektiivisesti. Vaikka ratkaisuja tehtiin pitkälti aivoriihi-tyyppisesti, pyrittiin niitä vertailemaan työryhmää suuremmalla joukolla ja kysymään mielipiteitä ulkopuolisilta asiantuntijoilta. Useita rinnakkaisia ratkaisutapoja kehiteltiin samanaikaisesti ja valinnat tehtiin vasta loppuvaiheessa.

### 2.3 Lähtötiedot

KyAMK:n muotoilijaopiskelijat haastattelivat, opiskeluihinsa liittyvänä tehtävänä, Suomen Meripelastusseuran edustajia, puolustusvoimien ja rajavartioston henkilöstöä, joilla oli aikaisempaa kokemusta hydrokoptereista, sekä kartoittivat elämysmatkailuyrittäjien, saariston asukkaiden ja muiden mahdollisten asiakkaiden kiinnostusta hydrokoptereita kohtaan. Nämä teemahaastattelut toimivat lähtökohtana, jota tarkennettiin vierailuin, puhelin- ja sähköpostihaastatteluin tärkeimmiksi koettujen loppukäyttäjien kanssa.

Koeajoinme Pohjois-Savon pelastuslaitoksen Arctic Ant–hydrokopteria Kuopiossa ja haastattelimme PSP:n henkilökuntaa sekä Arctic Antin että vanhan

ruotsalaisvalmisteisen hydrokopterin, jonka asemapaikka on nykyisin Varkaus, käyttökokemuksista

Vaalan palotarkastaja Petri Vehviäinen Kainuun pelastuslaitoksesta oli puhelinhaastattelussa ja vastasi sähköpostikyselyyn. Kainuun pelastuslaitoksella on käytössään ilmatyynyalus, josta Vehniäinen vastaa.

Käytössä oli Henrik Paerschin ja Juha Snell Oy:n suunnittelema ja rakentama amerikkalaistyylinen, tehokas ja nopea hydrokopterin prototyyppi, jota koeajettiin.



**Kuva 1 Ensimmäinen prototyyppi**

### 2.3.1 Teemahaastattelut

Teemahaastattelussa kävi ilmi, että hydrokoptereille on kysyntää myös muilta tahoilta kuin viranomaisilta. Esimerkiksi erään elämysmatkailuyrityksen toiminta keskittyy kesäisin saaristoon, mutta talvikaudella saaristo jää täysin hyödyntämättä kulkemisen ollessa liian hankalaa. Sukeltajat, saariston asukkaat ja mökkiläiset sekä oikeastaan kaikki talvisin järvi- ja merialueilla liikkuvat hyötyisivät kelirikkoajan kulkuvälineestä. Näissä tapauksissa ensiarvoisen tärkeiksi ominaisuuksiksi nousivat suuri hyötykuorma, varmatoimisuus ja turvallisuus. Suurimmalla osalla vastaajista oli erityisen negatiivinen ennakkokäsitys hydrokoptereista, mikä selittää hydrokoptereiden vähäisen käytön Suomessa.

Myös puolustusvoimissa Amphibian–hydrokopteria käyttäneiden mielikuva hydrokopterista oli hyvin negatiivinen. Sillä hetkellä Santahaminassa ei ollut käytössä yhtään hydrokopteria. Santahaminassa hydrokoptereita on käytetty miehistön kuljetuksiin linnakesaarille jäiden aikana. Puolustusvoimille miehistönkuljetuskapasiteetti olisi tärkeää: tilaa pitäisi olla 6 - 8 henkilölle.

Rajavartiolaitoksella Kotkan merivartioaseman hydrokopteria käytetään operatiiviseen toimintaan, johon sisältyy pelastustoiminta ja partiointi sekä miehistön vaihdot. Kotkan vartioasemalla oli käytössään Arctic Ant –hydrokopteri ja sen ominaisuudet näkyvät samalla tapaa läpi haastateltujen vastauksista kuin puolustusvoimien Amphibianista johtuvat ennakkoluulot hydrokoptereita kohtaan. Merivartiostolla käyttömukavuutta painotettiin enemmän, koska merivartijat joutuvat oleskelemaan kopterissa tuntikausia yhtämittaa. Hyvä lämmityslaite ja alhainen melutaso tai radiokuulosuojainjärjestelmä todettiin tarpeellisiksi. Pelastustoimintaa varten kaivattiin lisää tilaa ja hyviä valoja sekä suuria ikkunapintoja, jotka mahdollistavat näkyvyyden kaikkiin suuntiin.

Sekä merivartioston että puolustusvoimien edustajat halusivat kopterista sellaisen, että se ei kaadu eikä sukella ja on uppoamaton. Rajavartioston hydrokopterin miehistö kertoi nykyisen nopeuden riittävän heidän tehtäviinsä, vaikkakin totesivat nopeuden jäävän muutamaa kilometriä tunnissa paksussa lumessa. Viranomaiset eivät myöskään pitäneet ongelmana, että hydrokopterin ajaminen vaatii erityisosaamista. Sekä pelastuslaitos että rajavartiosto käyttivät hydrokopteria vain kiinteiden jäiden aikana, eikä vesiominaisuuksia siten pidetty tärkeinä. Molemmilla viranomaisilla olleiden hydrokoptereiden vesiominaisuudet tiedetään erittäin huonoiksi, ja se käy ilmi myös haastatteluista.

### 2.3.2 Arctic Antin koeajo ja Pohjois-Savon pelastuslaitos

Kuopiossa Arctic Ant (kuva 2) oli ollut käytössä vajaan kuukauden, kun pääsimme koeajamaan sitä ja haastattelemaan ruiskumestari-pintapelastaja Lauri Piristä. Laitetta oli käytetty tositoimissa vasta kahdesti, joista toisella kertaa oli pelastettu jäihin pudonnut kelkkailija ja jälkimmäisellä noudettu kaksi jäihin pudonnutta, mutta

omin avuin ylös päässyttä pilkkijää. Koeajoalustamme oli kirkas kantava jää, joten koeajo-olosuhteet olivat helpot. Arctic-Ant on ketterä ja helppo ohjata. Nämä ominaisuudet olivat myös Pirisen mukaan kopterin paras puoli. Ketterästä ja tarkasta ohjauksesta huolimatta aluksen pienin kääntöympyrä on yli 10 metriä.



**Kuva 2 Arctic-Ant**

Pirisellä oli selvät mielipiteet siitä, minkälainen hydrokopterin pitäisi olla pelastuskäytössä ja mitä siltä vaadittaisiin. Aluksen pitäisi olla riittävän robusti – työkalu, joka kestää kovaakin käyttöä. Hydrokopterin pitäisi olla nopeasti siirrettävissä maanteitse ja laskettavissa hankalista/ahtaista paikoista, tilaa pitäisi olla vähintään kahdelle pintapelastajalle tavaroineen, kuljettajalle sekä kahdelle potilaalle. Täysimittaisten parien mahtuminen on pelastustehtävissä ensiarvoisen tärkeää ja potilas pitää pystyä nostamaan kyytiin ja edelleen kyydistä pois paareilla. Pintapelastustehtävissä on tärkeää, että pelastusmiehistölle on tukevat kahvat ja riittävät jalansijat pelastettavan nostamiseksi vedestä.

Vanhan ruotsalaisen avokopterin kanssa pelastajille oli sattunut yhtä ja toista kummellusta, ja pienen kantavuuden takia pintapelastajat olivat joutuneet useita kertoja jäämään odottamaan jälle, että heidät tullaan hakemaan kunhan, potilas on saatu rantaan. Senhetkisen Arctic Antin ongelmiksi koettiin tilanpuute, hidas trailerointi ja vaurioaltis rakenne, joka ei ollut kestänyt kovaa hälytysajoa jäissä.

### 2.3.3 Kainuun pelastuslaitos

Petri Vehniäinen Kainuun pelastuslaitokselta listasi mahdolliseksi käytöksi vesipelastus-, ensihoito ja maastopelastustehtävät sekä tulipalot saarissa. Pintapelastuksen ja ensihoitotehtävien kohdalla tulivat esille samat vaatimukset kuin PSP:llä ja Kotkan rajavartiostolla. Sammutustehtävien yhteydessä olisi sitä parempi, mitä enemmän varusteita saadaan kyytiin kerralla. Lisäksi Vehniäinen arveli matalalla Oulujärvellä riittävän käyttöä myös sulien vesien aikaan nopealle ja syväykseltään pienelle hydrokopterille, jolla on helppo rantautua mihin tahansa. Vehniäinen painotti myös lämpimän hytin merkitystä vesipelastustehtävissä, jolloin hypotermiasta kärsivä potilas saadaan heti lämpimään, tai sairaskuljetuksissa, joissa hoito voidaan aloittaa jo kuljetuksen aikana samaan tapaan kuin ambulanssissa.

### 2.3.4 Referenssiaineisto

Olemassa olevia hydrokoptereita kartoitettiin internetistä ja oltiin henkilökohtaisesti yhteydessä kiinnostaviin valmistajiin.

Eniten valmistajia ja myös hydrokoptereita löytyy Pohjois-Amerikasta. Suurin keskittymä sijaitsee Floridassa, suurten suoalueiden ympärillä. Myös Kanadassa ja Alaskassa hydrokoptereita on.

Kaikki Floridan alueella rakennetut hydrokopterit ovat lähes samanlaisia (kuva 1): matala tasapohjainen alumiinirunko, jossa on nostettu keula ja korkea koroke kuljettajalle ja matkustajille, pohjassa on PE-levy kulutuspintana. Samalla konseptilla tehtyjä suoaluksia löytyy kymmeniltä pieniltä valmistajilta, ja ne vaihtelevat kooltaan yhden henkilön kantavista aina yli kymmenen hengen aluksiin.

Amerikkalaisia hydrokoptereita kuljettaa yleisimmin venekäyttöön muunnettu bensiinikäyttöinen autonmoottori. Tehoa niissä on yleisesti 275 – 500 hv. Vetolaitteita on teollisessa valmistuksessa kahta tyyppiä: suoravetoa, jossa vaihteisto sijaitsee moottorin voiman ulostulon jatkona (kuva 1), ja hihnavetolaitetta, jossa moottori sijaitsee alempana (kuva 3). Amerikkalaisia hydrokoptereita hallitaan

kaasupolkimella ja ohjaussauvalla. Potkurit ovat lähes poikkeuksetta hiilikuituisia ja kolmilapaisia. Myös kahden vastakkain pyörivän potkurin käytön mahdollistavia vaihteistoja on saatavilla.



**Kuva 3 Diamondback Airboat**

Kanadan ja Alaskan alueella olevat hydrokopterit toimivat Suomen talvea vastaavissa oloissa. Perusrakenteeltaan ne ovat pääasiassa samanlaisia kuin Floridan alueen kopterit. Joihinkin on lisätty ajoviimaa vastaan hytti muuttamatta konseptia muilta osin (Kuva 4). Husky airboats (kuva 5) oli ainoa löytämämme pohjoisamerikkalainen hydrokopterivalmistaja, joka oli suunnitellut hydrokopterin arktisiin olosuhteisiin.

Husky airboatsin lähestymistapa muistuttaa venettä, johon on laitettu ilmapotkuri propulsiolaitteisto. Se on kuitenkin tasapohjainen jäällä kulkemisen mahdollistamiseksi. Pohja on joustavaa aramidikuitulaminaattia, jonka on tarkoitus vaimentaa iskuja. Huskyairboatsin tekemiä hydrokoptereita on käytössä mm. USA:n rannikkovartiostolla. Huskyairboat eroaa muista pohjoisamerikkalaisista hydrokoptereista myös rattiohjauksellaan.



**Kuva 4 Canadian Airboats**



**Kuva 5 Husky Airboats**

Pohjois-Amerikan jälkeen eniten hydrokoptereita valmistetaan ja käytetään Venäjällä ja entisen Neuvostoliiton maissa. Suurinta osaa venäläisistä koptereista vauhdittavat pohjoisamerikkalaiset moottorit ja vetolaitteineen, ja osa niistä on myös runkomuodotaan yhteneviä amerikkalaisten kanssa. Eroavaisuutena suurin osa venäläisistä hydrokoptereista on katettuja ja niissä on rattiohjaus.

Venäläinen Tupolevin lentokonetehtas valmistaa yhtä moderneimmista hydrokoptereista (kuva 6). Tupolevissa on teho-painosuhteella mitaten tehokas lentokoneen tähtimoottori ja erillinen pohja, jonka päällä jousitettu hytti ja konepaketti ovat kiinni. Tupolevissa on potkuritunneli, joka lisää potkurin hyötysuhdetta hiljaisella nopeudella ajettaessa. Tupolevin levinneisyyttä rajoittaa lentokonekomponenttien aiheuttama erittäin korkea hinta.



**Kuva 6 Tupolev**

## 2.4 Vaatimukset

### 2.4.1 Asiakaslähtöiset vaatimukset

Teemahaastatteluraporttien, omien haastattelujen, koeajojen ja muiden julkaisemien käyttäjäkokemusten pohjalta saatiin tärkeimmät ominaisuudet, joihin tähdätä.

Tulevassa hydrokopterissa on oltava huomattavasti suuremmat sisätilat ja suurempi hyötykuorma kuin kilpailevilla tuotteilla (Arctic-Ant, Tupolev ja pienet ilmatyynyalukset), vähintään 6 henkilöä varusteineen, lämmitettävä sisätila, edullinen hankintahinta.

Riittävä tehoreservi, joka varmistaa turvallisen liikkumisen hankalissakin paikoissa, ja vankka vaurionkestävä rakenne todettiin tärkeiksi ominaisuuksiksi myös markkinoinnin kannalta.

### 2.4.2 Käyttöolosuhteiden asettamat vaatimukset

Vaihtelevat olosuhteet tekevät suunnittelusta haastavan, ja monissa asioissa joudutaan tekemään kompromisseja. Olosuhteita, joissa hydrokopterin tulee toimia, ovat sula vesi, paksu lumi, kova jää ja pettävä kevät-/syysjää, eli kaikki veden eri olomuodot.



Ensimmäisen prototyypin (kuva 1) ja Arctic-Antin (kuva 2) käyttökokemusten perusteella saatiin realistinen kuva eri olosuhteiden aiheuttamista ongelmista ja voitiin määrittää tavoitteet tulevalle mallille.

Vedessä tasapohjainen ja suhteellisen leveä hydrokopteri kulki tahmeasti, mutta oli hyvin ohjailtavissa – vastoin yleistä käsitystä. Vaikka laitetta vauhdittaa 400 hv ja massaa on 1300 kg, huippunopeus jää 18 solmuun. Teho-painosuhteeltaan vastaava v-pohjainen moottorivene voi kulkea yli 50 solmun nopeutta. Tulevan suunnittelun lähtökohdaksi otettiin nopeuden nostaminen liukualueelle 25–30 solmuun.

Kovalla jäällä tasapohjainen, lyhyt ja leveä hydrokopteri oli kaikkein hankalin. Vauhtia ei voinut nostaa yli kolmeenkymmeneen kilometriin tunnissa, koska jään epätasaisuudet tuntuivat rungossa samalta, kuin veneellä liukuvauhdista kiville ajo – myös vaikutus runkoon oli samansuuntainen. Kirkkaalla jäällä ohjailu oli ilmatyynyalusmaisen haasteellista ja sivutuulen vaikutus oli suuri. Tulevaan malliin oli siis saatava ehdottomasti vaimennus, joka eliminoi runkoon kohdistuvat iskut. Myös sivuttaispito täytyisi saada tasolle, jossa kopteri pitää suuntansa. Myöskään Arctic-Antin vääntösauvajousitus ei kyennyt iskuja vaimentamaan, ja siksi sen operaationopeus jäällä oli rajoitettu 30 kilometriin tunnissa..

Pehmeässä lumessa tasapohjainen prototyyppi oli helppo ja hauska ajaa. Raskaassa märässä lumessa tehoa tarvittiin kuitenkin paljon, erityisesti hitaassa vauhdissa. Myös ohjailu oli huonosta sivuttaispidosta johtuen leijuvaa. Tulevassa mallissa haluttiin saada sivuttaispitoa parannettua ja vähennettyä vastusta paksussa lumessa.

Pettävissä jäissä tasapohjainen prototyyppi toimi mainiosti. Riittävän työntövoiman ansiosta jään läpi uponnut kopteri nousi takaisin jälle helposti ja pysyi vauhdissa kävelijää kestävämmän jään päällä kulkien lähes kitkattomasti. Ainoa ongelma ko. olosuhteissa oli kova melu. Hajoava jää aiheuttaa kovaa hankausmelua runkoa vasten ja samalla moottori- ja potkurimelu nousee suureksi, koska joudutaan käyttämään maksimitehoa. Pettävät jäät ovat hydrokopterin ominta aluetta, ja siksi konseptia ei haluttu muuttaa liian paljoa ensimmäisestä prototyypistä. Heikoissa jäissä ensimmäinen prototyyppi toimi erittäin hyvin, ja kilpailijoille vastaavissa olosuhteissa liikkuminen tuottaa suuria ongelmia.

#### 2.4.3 Erityisvaatimukset pelastuskäyttöön

Haastattelujen pohjalta tärkeimmiksi ominaisuuksiksi viranomaiskäytössä yksilöityivät turvallinen operointi kaikissa olosuhteissa ja toimintavarmuus. Myös riittävät sisätilat, helppo trailerointi ja mahdollisuus nopeaan liikkeellelähtöön ovat tärkeitä (Pirinen 2006).

Erityisvaatimukset ja pelastusalan ammattilaisten toiveet liittyivät lähinnä varusteluun sen jälkeen, kun perusasiat ovat kunnossa. Tehokkaat valot, suuret ikkunapinnat, kahvat, paikka paareille ja asianmukainen navigointilaitteisto ovat toteutettavissa, kun peruskonsepti saadaan toimimaan. Ainoastaan paaripotilaan paikkaa jouduttiin miettimään alusta asti ja käyttämään minimivaatimuksena sisätiloille

#### 2.4.4 Lakisääteiset vaatimukset

Koska hydrokopteri tulkitaan veneeksi, on sen täytettävä huvivenedirektiivin vaatimukset, mikäli tuotetta myydään yksityishenkilöille EU-alueella (Patrakka 2006).

Tieliikenne laki rajoittaa maantiekuljetuksen leveydeksi Suomessa 2600 mm ja suurimmassa osassa Eurooppaa ja Pohjois-Amerikassa 2550 mm (Tieliikennelaki).

### 3 ARCTIC AIRBOAT

#### 3.1 Suunnittelun reunaehdot

Suunnittelun lähtökotana pidetään ensimmäistä prototyyppiä (kuva 1), joka on ominaisuuksiltaan ja toimintafilosofialtaan halutunlainen, pois lukien aiemmin mainitut ongelmat.

Mitat rajoittuvat leveyden osalta maantiekuljetusten takia 2,55 metriin, mikäli kuljetusleveyttä ei pystytä pienentämään operointileveydestä. Painoa rajoittava tekijä on maantiekuljetuksen lisäksi saatavissa olevien kone ja vetolaitteyhdistelmien työntövoima. Pituudella ei ole tarkkaa rajoitusta. Hyötykuorman tulee olla vähintään 500kg ja tilaa pitää olla vähintään viidelle henkilölle, joista kaksi voi olla paripotilaita.

Vaikka kyseessä on konseptisuunnittelu, rajataan pois muodot ja rakenteet, jotka vaativat suuria aloituskustannuksia. Prototyyppi pitää pystyä rakentamaan mahdollisimman pienin muutoksin ilman muotti-investointeja tai normaalien konepajojen ja lujitemuovituotteita valmistavien yritysten olemassa olevalla laitekannalla ja osaamisella.

#### 3.2 Tekniset ongelmat

##### 3.2.1 Jään aiheuttamien iskujen vaimennus rungossa

Rungon iskujen vaimentaminen on ongelmista suurimpia ja vaikeimmin ratkaistavissa. Vastaavia ratkaisuja on maailmalla vähän. Hydrokoptereissa ongelmaa on pyritty ratkaisemaan joustavalla pohjalla (Husky Airboats), jousitetuilla ponttoneilla tai suksilla (Arctic Ant ja Ambhibian) ja jousitetulla ohjaamalla (Tupolev).

Venepuolella iskujen vaimennukseen ei tarvitse kiinnittää huomiota, mutta suurien pystykiihtyvyyksien ja tärinän haittoja on pyritty vähentämään kumityynyjen varaan

ripustetuilla tai aktiivisesti vaimennetuilla hyteillä ja kuljettajan istuimilla. Vedessä kuljettaessa iskut aiheutuvat aallokosta ja ovat siten eriluonteisia kuin kiinteän jään aiheuttamat iskut. Veden aiheuttamia iskuja voidaan vähentää runkomuotoa optimoimalla. Pertti Pasasen patentoima jousitettu suksi veneen keulassa on yksi harvoista runkomuodosta riippumattomista toimista, jolla pyritään vähentämään aallokon aiheuttamia pystykiihtyvyyksiä ja iskuja.

Ajoneuvopuolella jousitusongelmaan on paneuduttu jo yli vuosisadan erilaisissa alusta-, nopeus- ja kuormitusolosuhteissa, joten mallia on luontevinta katsoa sieltä. Jäällä kuljettaessa jousitustilanne muistuttaa huomattavasti enemmän autoa tai maastoajoneuvoa kuin venettä, ja ongelmat ovat samoja.

Jousituksen toiminnan kannalta merkityksellisiä asioita ovat jousitetun massan suhde jousittamattomaan, joustomatkan pituus ja vaimennus. Nämä tekijät määrittävät, kuinka jousitus toimii. Esimerkiksi jousitettu istuin tai hytti vähentää kuljettajaan kohdistuvia iskuja, mutta ei tee matkustamisesta tasaisempaa. Jousitetulla istuimella istuvan kuljettajan vertikaaliliike on suurempaa kuin kulkuneuvon. Jousitettu istuin ei vähennä rungon vaurioitumista ja jousitetun hytinkin vaikutus on vähäinen.

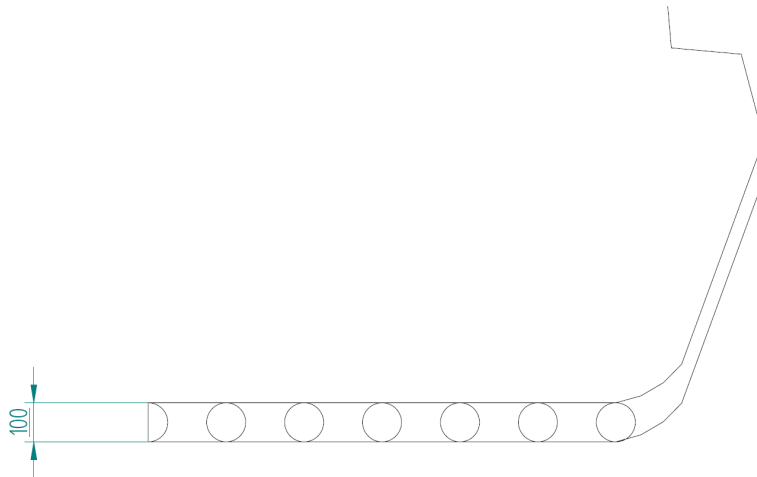
Aktiivisesti vaimennetut kuljettajan istuimet, joita käyttää esimerkiksi USA:n rannikkovartiosto, eivät tule hintansa ja painonsa puolesta kysymykseen tämän kokoluokan aluksissa.

Joustomatka ratkaisee, kuinka suuret alustan epätasaisuudet jousitus voi ottaa vastaan. Jo hyvin lyhyet joustomatkat vähentävät rakenteeseen kohdistuvia kiihtyvyyksiä ja siten myös voimia huomattavasti, vaikkei sillä matkustusmukavuuteen vaikutusta olisikaan.

Yleisesti hydrokopterin runkoon kohdistuvien iskujen vaikutusta voidaan pienentää kahdella tavalla: voidaan asentaa erilaisia joustavia elementtejä jään ja rungon väliin tai vähentää iskuja keräävää pinta-alaa. Iskunvaimennusta lähestyttiin kahdesta eri perusajatuksella: koko rungon levyisestä joustoelementistä kantavan rungon alla ja jousitetuista ponttoneista.

### 3.2.2 Joustoelementti rungon alla

Ensimmäisen prototyypin parhaita puolia oli äärimmäisen yksinkertainen rakenne, joka on helppo rakentaa ja jossa vaurioituvia osia on vähän. Jotta voitaisiin pysyä samankaltaisessa rakenteessa, olisi joustoelementti toteutettava itsenäisenä rungon alle (kuva 7).



**Kuva 7 Joustoelementti**

Kuvan 7 mukainen rakenne voidaan toteuttaa tyhjiömuovaamalla PE-UHMV -levystä koko rungon alle kaukalo, jonka välissä olisi joustavaa polyeteenivaahtoa. Tälle perusratkaisulle löytyy lukematon määrä eri variaatioita mm. sen suhteen, miten kaukalo kiinnitetään kylkiin, mitä materiaalia käytetään jouston saavuttamiseen tai kuinka paksua muovilevyä käytetään. Joustoelementit voivat olla myös ilmatäytteisiä, jolloin pohjan muotoa voidaan muokata ajotilanteen mukaan pullistamalla sitä joiltain osin.

Joustoelementin kyky vaimentaa iskuja on rajallinen ja rajoittuu joustomateriaalin paksuuteen ja muovilevyn venymään ja mahdolliseen vapaaseen liikkumismatkaan. Muovilevyn on oltava kulutuskestävyyden takia paksu, joten se jakaa iskut tehokkaasti suurelle alalle rungossa, vaikkei joustomatka riittäisikään. Muovilevy toimii myös vaimentimena, joten heiluriliikkeen vaaraa ei ole. Muovilevyn ja joustavan materiaalin yhdistelmällä toteutettu jousitus on voimakkaasti progressiivinen ja joustomatka on lyhyt. Jousittamattoman osan paino suhteessa jousitettuun on pieni. 10 mm polyeteenilevyn paino on  $9,7 \text{ kg/m}^2$ .

Voimakkaan progressiivisuuden ja lyhyen joustomatkan takia hytin liikkeistä poistuu suurimmat kiihtyvyyksiä, mutta heilahdusliikkeiden pituudet eivät vähene paljoa epätasaisella alustalla. Tällöin ohjaaminen ja ulos katsominen eivät oletettavasti helpotu verrattuna jäykkään pohjaan. Melutasoa joustoelementtivaimennus laskee varmasti. Vedessä ajamiseen ei joustoelementillä ole juuri vaikutusta. Vastus kasvaa, koska pohja ei pysy suorana vaan taipuu painejakauman mukaisesti, millä ei uskota olevan käytännössä merkitystä.

Joustoelementtiä voidaan kokeilla ensimmäisen prototyypin alle ilman muutoksia runkoon. Myös erilaisten joustoelementtien testaaminen samassa rungossa on mahdollista ilman muutostöitä itse runkoon.

### 3.2.3. Jousitetut ponttonit tai sukset

Kaikkein ilmeisin tapa jousituksen toteuttamiseen on erilliset sukset tai ponttonit. Tällöin saadaan halutun suuruinen joustomatka ja voidaan säätää sekä jouston progressiivisuutta että vaimennusta. Ongelmalliseksi ponttonien ja suksien rakenteen tekee se, että niiden on oltava nostettavat, jotta olosuhteiden vaatiessa voidaan ajaa tasaisen pohjan varassa, mikä tiedetään erittäin toimivaksi ensimmäisen prototyypin ja Arctic-Antin käyttökokemusten perusteella.

Jousitus voidaan toteuttaa teoriassa kaikilla yleisesti käytössä olevilla jousitustavoilla, esim. kierrejouset, lehtijouset, vääntäjouset tai ilmajouset. Näistä ainoastaan ilmajouset mahdollistavat itsessään korkeuden säädön, ja niitä käytetäänkin lähes kaikissa ajoneuvoissa, joissa korkeudensäätöä yleisesti käytetään. Muiden jousitustapojen kanssa joudutaan korkeudensäätöä toteuttamaan jousituksen ripustuksiin. Ilmajouset valitaan, koska ne ovat erittäin yksinkertaiset, edulliset ja standardikomponentteja on helposti saatavissa sekä jousitukseen että paineilmajärjestelmään. Toisena vartenotettavana vaihtoehtona pidettiin vääntösauvajousitusta, jossa vääntösauvan akseli kulkee rungon läpi, laakeroidaan molempiin kylkiin ja on kokonaisuudessaan käännettävissä hydraulisesti tai mekaanisesti.

Ponttonien suunnittelussa olennaisin kysymys on: ponttoni vai sukki? Näiden kahden välillä vallitsee suoranainen ristiriita. Jäällä mahdollisimman kevyet ja pienet sukset ovat varmasti toimivin ratkaisu, mutta niistä on vedessä vain haittaa ja ne ovat myös murtuvissa jäissä ongelmalliset. Kantavilla ponttoneilla puolestaan saadaan vedessä vähennettyä kulkuvastusta merkittävästi verrattuna tasaiseen pohjaan, mutta jäällä ne ovat sitä huonommat, mitä raskaammat ne ovat. Ponttonien hyvänä puolena on erittäin suuri vakavuus uppoumatilavuuden siirtyessä kauas keskilinjasta ja turvallisuus, koska ponttonit muodostaisivat erillisen ilmatilan, joka kannattasi vedellä täyttyneen rungon. Ponttonien on oltava riittävän suuret tai asennettu siten, että ne eivät koskaan pääse painumaan kokonaisuudessaan veden alle kaarteissa.

Runkorakenteelle jousitus asettaa hyvin erityyppisiä vaatimuksia, mihin veneiden kohdalla on totuttu. Jousien kiinnityspisteiden kautta aluksen paino kohdistuu runkoon neljästä pisteestä, jolloin kiertojäykkyysvaatimus on suuri. Jousien ripustuksien kautta runkoon kohdistuu vääntövoimia, jotka aiheutuvat ponttonien sivuttaisvoimasta joko vedessä tai jäällä.

### 3.3. Kulkuvastuksen pienentäminen ja huippunopeuden kasvattaminen vedessä

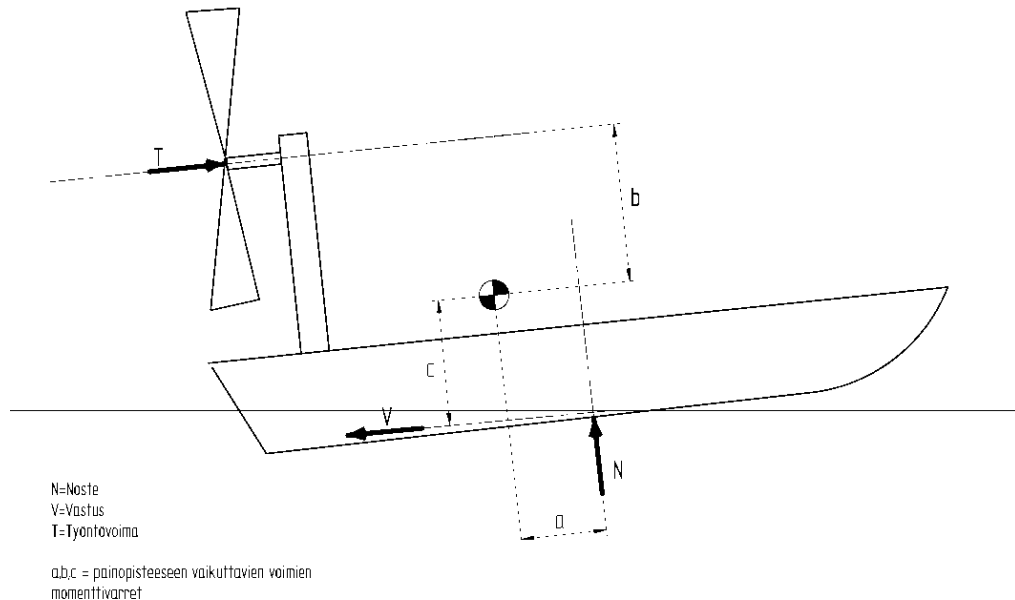
Ensimmäisen prototyypin perusteella kulkuvastusta olisi hyvä saada pienennettyä pidemmän toimintasäteen ja pienempien käyttökustannusten saavuttamiseksi.

#### 3.3.1 Kulkuvastus yleisesti

Kulkuvastus muodostuu aallonmuodostusvastuksesta ja kitkan luonteisista viskooseista vastuskomponenteista. Kitkavastukseen vaikuttaa märkäpinta-ala ja aallonmuodostukseen pääasiallisesti runkomuoto ja uppouma. Aallonmuodostuksen ja kitkan osuus kokonaisvastuksesta vaihtelee eri nopeusalueilla. Suurissa nopeuksissa ja erityisesti jäällä ajettaessa myös ilmanvastus on merkityksellinen.

Liukuvan veneen suorituskykyä arvioidaan momenttitasapainon avulla (kuva 8). Vetolaitteen sijaitessa painopisteen yläpuolella, toisin kuin tavanomaisessa vesipropulsiolaitteella varustetussa veneessä, muuttuu momenttiyhtälössä työntövoiman momenttivarsi negatiiviseksi, keulaa alas painavaksi momentiksi.

Kun myös kitkavoiman tiedetään vaikuttavan keulaa alas painavana, siirtyy nostekeskiö hyvin eteen, heti kun nopeus nousee runkonopeudesta. Suuresta tehopainosuhteesta huolimatta nopeus jää pieneksi ja keula painuu alas.



**Kuva 8** Trimmiin vaikuttavat voimat ja momentit

Kun painopisteeseen vaikuttavat momentit kirjoitetaan yhtälöksi (kaava 1), huomataan, ettei painopisteen korkeudella ole hydrokopterin tapauksessa vaikutusta momenttitasapainoon, vaan sen vaikutukset kumoavat toisensa. Yhtälössä ei oteta huomioon lähes painopisteen korossa vaikuttavaa ilmanvastusta, koska sen vaikutus on pieni.

$$Na - Tb + Vc = 0 \Leftrightarrow Na = Tb + Vc \quad (\text{kaava 1})$$

Jotta huippunopeutta saataisiin nostettua, täytyisi painopisteen ja nostekeskiön välistä pituutta  $a$  kasvattaa tai kulkuvastusta  $V$  pienentää. Painopistettä voidaan siirtää taaksepäin vain niin paljon, kuin se on rakenteellisesti mahdollista. Nostekeskiötä voidaan siirtää eteenpäin, lisäämättä kokonaispituutta, tekemällä taakse porras, joka vähentää dynaamista nostetta rungon tai ponttonin takaosassa ja siirtää siten nostekeskiötä eteenpäin.



Kulkuvastuksen pienentäminen kaventamalla märkäpinta-alaa, käyttämällä nousulistoja tai tekemällä pohjasta askeltyyppinen auttavat. Perään tehdyn portaan ja painopisteen taaksepäin siirtämisen varjopuolena on staattisen kellunta-asennon takapainoisuus ja hitaampi liukuun nousu. Jääolosuhteissa paras paikka painopisteelle on keskellä alusta.

### 3.3.2 Kulkuvastuksen vähentäminen

Koska ensimmäisen prototyypin tapainen hydrokopteri on tasapohjainen, ei sen märkäpinta-ala pienene dynaamisen nosteen kasvaessa kuten v-pohjaisessa veneessä. Tästä johtuen vastus kasvaa huomattavasti normaalia liukuvaa venettä nopeammin, eikä nousulistoista tai palteista ole hyötyä.

Ponttonien käyttäminen vedessä ainoana kantavana pintana mahdollistaa märkäpinta-alan pienentämisen huomattavasti tasapohjaiseen runkoon verraten (vrt. monirunkoveneet).

## 3.4 Ohjattavuus kovalla alustalla

### 3.4.1 Ohjauksen toteuttamisvaihtoehdot

Ohjauksen toteuttamiseksi tarvitaan kääntävä voima ja tukivoima, joka estää sivusuuntaan liukumisen. Tunnettuja tapoja jäällä liikkuvan hydrokopterin kääntämiseksi ovat kääntyvät sukset (moottorikelkat, Amphibian), nivelrunko-ohjaus (Arctic-Ant) ja ilmaperäsimet (muut hydrokopterit, ilmatyynyalukset). Ilmaperäsimillä kääntäminen aiheuttaa liukkaalla alustalla voimakkaan sivuttaisliikkeen, kun jään ja pohjan välinen kitka ei riitä vastustamaan sivuttaisliikettä.

Ohjaaminen on perinteisesti ollut myös ainoa tapa jarruttaa hydrokoptereita ja ilmatyynyaluksia jäällä. Ensimmäisessä prototyypissä oli peräpeiliin asennetut

jääjarrut, jotka sekä jarruttivat että osittain myös ohjasivat tarvittaessa. Jarrut todettiin tarpeellisiksi ja hyvin toimiviksi ja niitä päätettiin kehittää edelleen.

Arctic Airboatin konstruktiossa ilmaperäsimet ovat ainoa järkevä tapa toteuttaa ohjaus jäällä. Ohjausvaikutusta voidaan parantaa jarruilla siten, että ohjaaminen on mahdollista pinemmässä tilassa ja hitaammalla vauhdilla kuin pelkillä peräsimillä.

Jotta jarrulla saataisiin hyvä ohjausvaikutus, on niiden sijaittava riittävästi peräsimien etupuolella kääntymiseen tarvittavan momenttivarren aikaansaamiseksi. Kääntymisen kannalta paras tilanne olisi, jos jarrut sijaitsisivat pitkittäisuunnassa painopisteen kohdalla ja sivusuunnassa mahdollisimman kaukana painopisteestä kummallakin laidalla.

### 3.4.2 Sivuttaispito

Sivuttaispito voidaan toteuttaa monenlaisilla kiskoilla tai terillä ponttonien pohjassa. Terillä tulee olemaan suuri vaikutus hydrokopterin käyttäytymiseen ja ohjattavuuteen jäällä. Terän toiminnan kannalta oleellista on sen sijainti pitkittäissuunnassa, terän pituus ja profiili. Mikäli terä on painopisteen etupuolella, kääntyy hydrokopteri äärimmäisen kevyesti, koska tällöin terän tukivoima ja kääntävä voima aiheuttavat samansuuntaisen kääntävän momentin painopisteen suhteen. Ongelmana on erittäin huono suuntavakaus, koska kerran kääntymään lähdettyään hydrokopteri ei oikaise itseään vaan pyörähtää ympäri asti.

Toinen kääntävyyteen vaikuttava tekijä on terän pituus. Tukivoiman voidaan ajatella vaikuttavan pistemäisenä, jolloin terän sivuttaispito ei aiheuta kääntymistä vastustavaa voimaa. Tilanne on suhteellisen kuvaava, mikäli terä on lyhyt. Terän pituutta kasvatettaessa rupeaa terä itsessään vastustamaan kääntymistä, joten kääntymiseen vaikuttavat sekä terän pituus että sijainti.

Kolmas oleellinen tekijä on terän profiili. Kysymys on lähinnä siitä kuinka täydellinen sivuttaispidon pitäisi olla ja onko pieni luisto parempi kuin täydellinen

pito. Terän kulma ja korkeus vaikuttavat pintapaineeseen ja sitä kautta ominaisuuksiin eri alustoilla. Sileällä teräsjäällä on mahdollista, että hydrokooperi kulkee ainoastaan terien varassa, kun taas pehmeämmällä alustalla terät uppoavat alustaan ja koko ponttonien pohja on kosketuksissa alustan kanssa.

Sivuttaispito ja terien muotoilu vaikuttavat oleellisesti tukivarsia kuormittavaan sivuttaisvoimaan sekä hydrokooperia kallistavaan voimaan kaarteissa kovalla alustalla.

Muotoilemalla terät siten, että kaarreajossa vain ulkokaarten puoleinen terä puree alustaan, ponttoni nojaa runkoon eikä roiku pelkästään tukivarsien varassa. Muotoilemalla terät siten, että vain sisäkaarten puoleinen terä puree alustaan, varmistetaan, ettei hydrokooperi kaadu kaarten aiheuttaman sivuttaiskiihtyvyyden vaikutuksesta, vaan kallistuksen lisääntyessä terä irtaantuu jäältä, sivuttaispito pienenee ja hydrokooperi lähtee sivuluisuun voimakkaan kallistuksen tai kaatumisen välttämiseksi.

### 3.5 Materiaalit

Materiaalivaihtoehtoja kartoitettiin komposiittien, alumiinien ja kestopuuvien sekä näiden erilaisten yhdistelmien osalta. Kestopuuvien osalta vaihtoehtona oli lähinnä PE-HD (high density) ja PE-UHMV (ultra high molecular weight). Komposiiteista harkittiin lasi/epoksi ja lasi/vinyyliesteri -pohjaisia rakenteita. Kaikki edellä mainitut ovat yleisesti käytettyjä veneenrakennusmateriaaleja ja helposti saatavissa sekä työstettävissä.

#### 3.5.1 Materiaalien edut, huonot puolet ja mahdollisuudet

PE-HD ja erityisesti PE-UHMW olisivat ylivoimaisia kulutus- ja vaurionkestävyydeltään, joka tulee olemaan tärkeä ominaisuus. Alumiini on kevyttä ja lujaa, helposti työstettävissä ja hitsattavissa, mutta sen kulutuskestävyys on huono. Veneenrakennuksessa pellityksiin yleisesti käytettävät laadut ovat pehmeäksi hehkutettuja hyvän hitsattavuuden saavuttamiseksi ja siksi kulutuskestävyyden

kannalta erityisen huonoja. Komposiittirakenteen kulutuskesto riippuu paljon käytettävästä matriisista ja sen mahdollisesta seostamisesta pintakerroksissa. Komposiittimateriaaleista on mahdollista saada erittäin hyvin kulutusta kestäviä pintoja.

Materiaalien ominaisuuksia ja niiden vaikutusta lopputuotteen haluttavuuteen on arvioitu taulukolla, jossa materiaaleille on annettu pisteitä yhdestä kolmeen eri tuoteominaisuuksiin vaikuttamisen mukaan.

### Materiaalien vertailutaulukko

Materiaali	Äänenvaimennus	Muotoilu	Vaurion kesto	Jäykkyys	Paino
<i>Alumiini</i>	1	1	2	3	2
<i>Komposiitti</i>	3	3	1	3	3
<i>Kestomuovi</i>	2	2	3	1	2
	Hinta	Korjattavuus	Käyttöikä	Alihankinta	Prototyypin hinta
<i>Alumiini</i>	3	3	3	3	3
<i>Komposiitti</i>	1	2	3	1	1
<i>Kestomuovi</i>	2	1	2	2	3
		Muunneltavuus	Markkinointi		Yhteensä
<i>Alumiini</i>		3	2		29
<i>Komposiitti</i>		1	2		24
<i>Kestomuovi</i>		2	2		24

Taulukosta voidaan havaita, ettei mikään materiaaleista ole ylivoimainen tai täysin pois suljettu ja kaikilla on omat vahvuutensa. Ilmeistä on, että parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen ei päästä ainoastaan yhtä materiaalia käyttämällä, vaan eri materiaalien ominaisuuksia on mahdollista käyttää tehokkaasti yhdessä.

### 3.5.2 Valmistusmenetelmien edut, huonot puolet ja mahdollisuudet

Alumiinin valintaa prototyypin materiaaliksi puolsi prototyypin valmistuksen helppous. Myös materiaalin ja saatavilla olevien alihankkijoiden hyvä maine viranomaiskäytössä olivat merkittäviä syitä. Alumiiniveneitä rakennettaessa sarjatuotannon edut saadaan n. 5 kpl sarjalla (Räikkönen 2006), kun taas

komposiittirakenteet vaatisivat huomattavasti suurempia sarjoja. Hitsaamalla rakennettu PE on aloituskustannuksiltaan alumiinin luokkaa, mutta piensarjatuotannon edut eivät ole yhtä ilmeisiä kuin alumiinin kanssa. (Santaharju 2008)

Komposiittirakenteilla saavutettavat edut ovat ilmeisiä, mutta eivät niin suuria, että prototyyppiä varten kannattaisi valmistaa muotteja. Alumiinirakennetta voidaan muuttaa jokaisen rungon valmistamisen jälkeen ilman merkittäviä lisäkustannuksia.

Koska kyseessä on täysin uudenlainen konsepti, on hyvin todennäköistä, että rakenteita ja muotoja joudutaan muokkaamaan käyttökokemusten pohjalta. Eri materiaalien yhdistäminen ja niiden parhaiden puolien käyttäminen hyödyksi tulee varmasti kysymykseen prototyyppivaiheesta sarjatuotantovaiheeseen siirryttäessä.

### 3.5.3 Eri käyttökohteiden erityispiirteet

#### 3.5.3.1 Ponttonit

Iskunkestävyys, kulutuskestävyys ja suuri vaurionkesto ovat erittäin tärkeitä. Ponttonien kitkan pitää olla pieni jää- ja lumiolosuhteita varten. Mikäli materiaali itsessään ei ole riittävän liukas, kuten alumiini, joudutaan ponttonit pinnoittamaan erillisellä liukupinnalla. Ponttonien paino vaikuttaa suoraan jousituksen toimintaan, joten ponttonien on oltava mahdollisimman kevyet.

Ponttonien kohdalla kahden materiaalin yhdistelmä on vartenotettava vaihtoehto; esimerkiksi jäykkä kehikko alumiinista tai teräksestä, johon tukivarret kiinnitetään, ja ulkopinnat tyhjiömuovataan polyeteenistä. Tällaisella ratkaisulla saadaan hyvä kulutuskestävyys ja suuri globaali jäykkyys.

Lumi ja jää ovat haasteellisia alustoja luiston suhteen. Materiaalin kitkakerroin ei kerro siitä, miten materiaali luistaa jäätä vasten tai lumella. Luisto lumella ja jäällä perustuu liukupinnan ja alustan väliin sulavasta lumesta tai jäästä muodostuvaan

vesipatjaan pintapaineen ollessa riittävä. Näin ollen liukuvastus on enemmän viskoosiluonteinen kuin puhdas kitkavastus. Pintapaineen ollessa pieni on luistotilanne enemmän kitkaluonteinen. Puhdas kitkavastus ei ole riippuvainen pinta-alasta, mutta virtausvastuksissa pinta-ala on tekijänä.

Ponttonien pinnoittamiseen, olivat ne alumiinia tai komposiittirakenteisia, on mahdollista käyttää erilaisia ruiskutettavia polymeerejä liuku- ja kulutuspinnoiksi. Näiden kanssa saavutetaan parempi ulkonäkö ja valmistettavuus kuin ruuvaamalla tai liimaamalla kiinnitetyillä levyillä. Mahdollista on myös tyhjiömuovata ”sukka” ponttonin päälle.

Suurimolekyylinen polyeteeni tai muu soveltuva kestopuovi olisi hyvä ratkaisu ja toimisi ilman erillistä pinnoittamista. Muoviponttoneilla saavutettaisiin hyvä kulutuksen ja iskun kestävyys. Ponttonit voidaan valmistaa joko rotaatiovalamalla tai hitsaamalla levystä. Myös tyhjiömuovauksen ja hitsaamisen yhdistäminen on mahdollista. Kestomuovien hyvänä puolena on lisäksi pieni ominaispaino 0,95–1,05, joka tulee merkitykselliseksi ponttonin vaurioituessa.

Ponttonin voidaan ajatella olevan vaihdettava kulutusosa, jonka ei tarvitse kestää koko hydrokopterin käyttöikää, mikä mahdollistaisi kevyemmän rakenteen ja ohuemat kulutuspinnat.

#### 3.5.3.2 Runko

Rungon materiaalin tulee mahdollistaa jäykkä ja kevyt rakenne, jolloin ponttonien ripustuspisteet ja jousien kiinnityspisteet olisivat jäykät ja jousitus, mahdollisesti myös ponttoni, ainoat joustavat elementit.

Rungon pitää kestää pohjaan tulevat satunnaiset iskut vaurioitumatta vaarallisesti. Rungon ja hytin tulisi myös pystyä vaimentamaan potkuriääniä tehokkaasti. Erilaiset kaksoispohja-, osastoimis- ja kellukeratkaisut ovat hyviä varmistamaan turvallisen liikkumisen ja mahdollisen pohjavaurion kohdatessa turvallisen kotiinpaluun omin neuvoin. Jäänopeuden ollessa suuri pohjasta ei ole mahdollista tehdä sellaista, että se kestää kovassa vauhdissa tulevat odottamattomat iskut.

### 3.5.3.3 Hytti

Hytin materiaalin tulee olla kevyttä, eristää hyvin ääntä ja olla muotoiltavissa myyvän ulkonäön aikaan saamiseksi. Hyttimateriaalina kerrosrakenteiset komposiitit ovat ominaisuuksiltaan ylivertaisia alumiiniin tai kestumuoveihin verrattaessa.

Prototyypin kohdalla muotoon laminoidut komposiittirakenteet eivät tule kysymykseen suurten muottikulujen takia. Levyrakenteinen hytti, jossa komposiittilevyt kiinnitetään liimaamalla alumiinirankaan, on edullinen ja antaa teknisesti hyvän lopputuloksen, mutta muotoilussa joudutaan tekemään kompromisseja. Verrattuna muotista valmistettuun rakenteeseen on se muunneltavampi ja mahdollistaa valmiiden kerroslevyjen käytön.

### 3.5.4 Materiaalit olemassa olevissa hydrokoptereissa

Floridan suoalueen airboatit ovat rakenteeltaan hyvin samankaltaisia: hitsattu T-profiileilla jäykistetty alumiinirunko, jossa 10-12 mm PE-UHMW-levy kulutuspinna. Pohjois-Amerikassa komposiitti- tai kestumuovirakenteisia hydrokoptereita on hyvin vähän. Myös vanhat suomalaiset Amphibian-hydrokopterit ovat alumiinirakenteisia.

Arctic-Ant on alipainelaminoitua lasi-epoksirakennetta sekä rungon että ponttonien osalta. Ponttonien pohjissa on PE-HD -kulutuspinna.

## 4 PROTOTYYPPI

Materiaali-, muoto- ja konstruktioselvityksen tuloksena päädyttiin kaksikuoriseen alumiinirunkoon ja erillisjousitettuihin alumiiniponttoneihin. Ilmajousitetuin, säädettävin ponttonein varustettu runko oli mielestämme paras mahdollinen ratkaisu esitettyihin ongelmiin. Materiaalivalinta oli enemmän taloudellinen kuin tekninen.

Runkomuoto päätettiin pitää tasapohjaisena, jotta ensimmäisen prototyypin erinomaisia ominaisuuksia pettävässä jäissä ja paksussa lumessa ei huononnettaisi. Molemmat edellä mainitut olosuhteet ovat hydrokopterin ominta alaa ja tuottavat vaikeuksia kaikille muille jää- ja vesikulkuneuvoille.

Ponttoneiden ja rungon leveyden suhde ratkaistiin suorituskykylaskennan mukaan siten, että ponttonit ovat kapeimmat mahdolliset, joiden varaan hydrokopteri vedessä nousee varmasti liukuun 70 %:n moottoriteholla. Ponttoneista päätettiin tehdä runkoa lyhyemmät, jotta huippu nopeutta vedessä saataisiin nostettua ja ohjailua kiinteällä alustalla, erityisesti paksussa lumessa, parannettua..

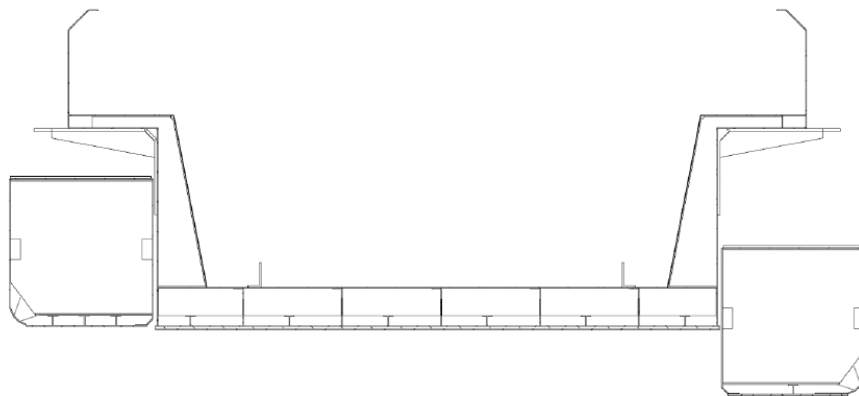
Ponttonit ovat muodoiltaan suorat, jotta saavutettaisiin mahdollisimman suuri kantavuus. Sisäkylkien täytyy olla suorat, jotta rungon ja ponttonien väliin ei jää jäätä keräävää rakoa. Ulkokylki on suora, jotta saadaan suurin mahdollinen pohjanleveys käytettävissä olevan kokonaisleveyden rajoissa. Ainoastaan ponttonin alakulmia takaosasta on pyöristetty paremman ohjailtavuuden saavuttamiseksi kovalla alustalla ja keulaa muotoiltu, jotta roiskeet eivät lentäisi tuulilasiin vedessä ajettaessa.

### 4.1 Runko

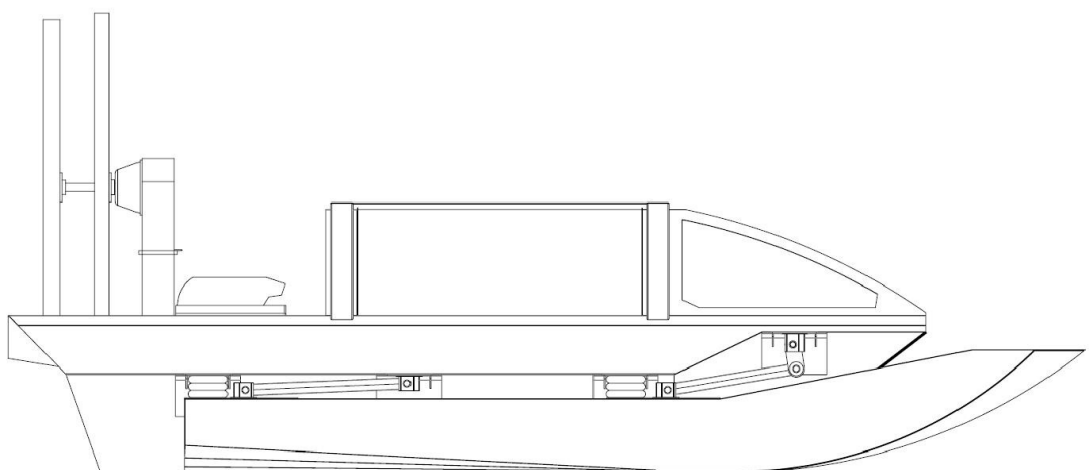
Runko rakentuu ulkolaidoituksesta, sisäkuoresta ja niiden väliin jäävästä jäykistekehikosta. Koska sisätilojen puolesta ei ole mahdollista käyttää täysikorkeita laipioita ja umpikantta rungon jäykistämiseen, on kaksoiskuori luonteva rakenne. Runko muodostaa yhden jäykän kotelopalkin, joka kantaa kaikki voimat. Hyttiä ei laskettu kantavaksi rakenteeksi, vaikka todellisuudessa se lisää kiertojäykkyyttä huomattavasti.



Pohjan vapaat levykentät on tarkoituksenmukaista pitää mahdollisimman pieninä, jotta jään epätasaisuuksien aiheuttamat iskut eivät aiheuttaisi suuria muodonmuutoksia pohjalevyyn, vaan voimat jakautuisivat jäykisteiden kautta runkoon. Pitkittäisjäykistys koostuu matalista t-profiileista ja sisäkuoren ja ulkolaidoituksen yhdistävistä korkeista jäykisteistä. Poikittaisjäykistys ei jatku pohjalevyyn asti, jotta vältetään poikkisuuntaisilta jäykiltä pisteiltä, jotka ovat alttiita murtumille kulkusuunnassa etenevien iskujen vaikutuksesta.



**Kuva 8: Poikkileikkaus**



**Kuva 9: Sivuprofiili**

Sisäkuori jatkuu rungon ulkolaitaan asti, jolloin tukivarsien ja jousien runkoon kohdistuvat voimat saadaan tehokkaasti jaettua. Sisäkuori muodostaa kolme

vesitiivistä osastoa: vasen kylkikotelo, oikea kylkikotelo ja kaksoispohja. Jokaisen kotelon tilavuus on pieni ja ponttonien ollessa ehjät yksittäiseen koteloon syntyvä vuoto ei aiheuta vaaratilanteita eikä estettä hydrokopterilla ajamiseen ja siten tehtävän loppuun suorittamiseen tai omin avuin kotiinpaluuseen. Myöskään matkustamon tai konetilan täyttyminen ylhäältäpäin ei aiheuta uppoamisvaaraa rungon ja ponttonien ollessa ehjät.

Runkoon hitsataan ulkopuolelle vahvikkeet tukivarsien ja jousien aiheuttamien voimien jakamiseksi suuremmalle alalle runkoon.

## 4.2 Ponttonit

Ponttonit ovat rakenteeltaan yksinkertaiset putket, jotka on jäykistetty pitkittäisjäykistein ja laipioin. Tukivarsien ja jousien kiinnityskohdat on vahvistettu voimien jakamiseksi suuremmalle alueelle.

Ponttonien osastoiminen oli yksi vaihtoehto, mutta siitä luovuttiin tarkistus- ja tyhjennysaukkojen hankalan toteutuksen takia.

## 4.3 Hytti

Hytti rakentuu kahdesta rungon ylittävästä kaaresta, niiden välissä olevasta katosta, ikkunoiden kehyksistä sekä takaseinästä. Suurin osa hytistä on ikkunapintaa ja suuret lokinsiipiovet muodostavat koko seinäpinnan.

Hytin takaseinä ja takapenkin etuseinä ovat ainoat koko hydrokopterin levyiset laipiot. Etutukivarsien, joiden kiinnitys on kaksoiskuoren yläpuolella, runkoon aiheuttamien kuormien kantamiseksi alumiininen kojelauta on vahvistettu tukivarsien kiinnityskohdasta koko rungon poikki ulottuvalla kotelopalkilla.

#### 4.4 Tukivarret

Tukivarsikonstruktiossa päädyttiin erittäin yksinkertaiseen pitkittäisvarteen, koska ponttonin ja rungon etäisyyden ei haluttu muuttuvan ajotilanteessa eikä ponttonin pääsevän kallistumaan poikittaissuunnassa.

Jotta ponttonin päät pääsisivät liikkumaan vapaasti ylös ja alas, on toisen tukivarsista oltava muuttuvapituuksinen. Pituuden muutos päätettiin toteuttaa nivelellä, koska erilaiset liuku- ja teleskooppirakenteet olisivat alttiita jäätymiselle.

Nivelöity varsi sijoitettiin eteen, koska painopisteen kohdalla oleva takavarsi ottaa vastaan suurimman osan sivuttaisvoimasta. Kiinteämittainen varsi ottaa vastaan myös kaikki pitkittäisvoimat. Koska nivel vaatii tilaa, joudutaan runkoon tekemään syvennys sitä varten.

Tukivarret valmistetaan kotelopalkkeina suurlujuusteräksestä, koska sopivaa putkea ei ole saatavilla. Helpomman valmistamisen takia varret ovat suorat eivätkä jännitys jakauman mukaisesti kavennetut. Koska mitoittavana tekijänä on suoran väännön lisäksi kierto, kevennysreiät eivät tule kysymykseen, vaan tukivarret toteutetaan mahdollisimman ohutseinäisenä kotelona. Varsien mitoittamista ja hajoamista tutkittiin FEM-mallien avulla.

Molemmissa tukivarsissa on valettu kumiholkki molemmissa päissä vaimentamassa värinöitä, ääntä ja teräviä iskuja. Laakerointi toteutetaan pdme-liukulaakereilla. Akselit, lukkorenkaat ja sokat ovat haponkestävää terästä.

#### 4.5 Tekniikka

Projekti perustui alusta asti siihen, että USA:sta saadaan valmiina komponentteina moottorit, vetolaitteet ja potkurit. Prototyyppiin valittiin kahdella vastakkain pyörivällä kolmilapaisella hiilikuitupotkurilla varustettu hihnavälitteinen vetolaite.

Kaksi potkuria antaa suurimman mahdollisen työntövoiman paikallaan oltassa, ja suuren lapapinta-alan ansiosta pyörimisnopeus voidaan pitää pienempänä, jolloin myös potkurimelu vähenee (Diamond airboats). Hihnavetolaite mahdollistaa moottorin sijoittamisen alas, painopisteen kannalta otollisempaan paikkaan. Moottoriksi valittiin hydrokopterikäyttöön kehitetty, Chevroletin 501 kuutiotuumaiseen lohkoon perustuva, alumiinikantinen suoraruiskutus-bensiinimoottori 450 hv tehoisena. Moottori on merikäyttöön muokattu autonmoottori ja teholuokassaan kevyimpiä saatavilla olevia.

Jousitukseen valittiin nk. makkarapalkeet, joita käytetään yleisesti teollisuuden värinänvaimentimina ja ajoneuvojen telin nostajina. Varsinaisina ilmajousina yleisesti käytetyt rullapalkeet hylättiin, koska niiden kuormankantokyky on voimakkaasti progressiivinen korkeuden suhteen. Makkarapalkeiden joustomatkat ovat yläasennossa lyhyempiä, ja siten rungon pohjaamista voidaan välttää. Makkarapalkeet myös vaimentavat voimakkaasti, joten erilisiä iskunvaimentimia ei välttämättä tarvita. (Dunlop)

Pneumatiikkajärjestelmä toteutettiin mekaanisin venttiilein siten, että etu- ja takapäätä voidaan säätää erikseen. Paineilma tuotetaan sähkökompressorilla ja järjestelmä varustetaan pienellä painesäiliöllä, joka nopeuttaa jousten täyttymistä nolatilanteesta ja toimii vedenerottimena letkujen ja venttiilien jäätyksen estämiseksi.

Ensimmäisessä prototyypissä hyväksi havaitut jarrut päätettiin toteuttaa samaan tapaan hydraulisin, koska paineilmaikäyttöisten jarrujen säädettävyys olisi ollut hankalasti toteutettavissa. Jarrut sijoitettiin ponttonien peräpeileihin, jotta ne ovat käytettävissä kaikissa tilanteissa tällöin myös ohjausvaikutus on suurin mahdollinen. Molempia jarruja käytetään erikseen, jotta jarrujen käyttäminen ohjaamiseen olisi mahdollista.

#### 4.5 Pinnoittaminen

Koska alumiini ei itsessään luista jäällä eikä lumella, täytyy rungon pohja ja ponttonit kokonaisuudessaan pinnoittaa. Päädyttiin ratkaisuun, jossa runkoon

ruuvataan kerroslevy, jossa alempana kerroksena on 5mm kumi ja pintana 5mm PE-UHMW. Levyn tarkoituksena oli liukupinnan lisäksi vaimentaa sisämelua ja jakaa pohjaan tulevia teräviä iskuja suuremmalle alalle. Myös ponttonit päätettiin pinnoittaa PE-levyllä. Ensisijaisesti tarkoituksena oli tyhjiömuovata vaihdettava sukka ponttonin päälle, mutta Suomesta ei löytynyt sille tekijää, joten joudutaan käyttämään levyä myös ponttonin pinnoittamiseen.

## 4.6 Rakentaminen

Rungon rakentaminen perustetaan laserleikattuihin osiin, jotka voidaan kasata ilman ulkopuolista jigiiä tai runkoon hitsattavia ylimääräisiä tukia. Kaikki alumiiniosat pyritään särmäämään mahdollisimman suurista kokonaisuuksista. Materiaalina prototyypissä käytetään alumiinilaatuja EN-AW 5083 ja EN-AW 6082.

## 5 LUJUUSVAATIMUKSET

### 5.1 Kuormitustilanteet

Heti alusta asti oli selvää, ettei hydrokopterista pystytä tekemään sellaista, että se kestäisi kovalla vauhdilla jäärykkiöihin tai muihin epätasaisuuksiin ajamista, ja suurin ongelma onkin sen rajan määrittäminen, mitä hydrokopterin täytyy kestää? Veneiden ja erityisesti työveneiden käyttäjät ovat tottuneet siihen, että alukset kestävät kaikissa olosuhteissa täyttä vauhtia ajamista. Kiinteällä jäällä operointi onkin paremmin verrattavissa maantie- tai maastoajoneuvojen käyttöön, joiden kohdalla pidetään itsestään selvänä, ettei niillä voi ajaa miten tahansa.

### 5.2 Laskennalliset maksimikuormat

Runkoon ja ponttoneihin aiheutuvat painekuormat vesiolosuhteessa arvioitiin VTT:n työveneoheistuksen mukaisella laskentamallilla.

Tukivarret, tukivarsien kiinnitys ja voimien jakaminen runkoon mitoitettiin suurimman mahdollisen sivuttaisvoiman mukaan. Voiman määrittämisessä päädyttiin käyttämään suurinta sivuttaiskiihtyvyyttä. Huonoimman tilanteen mukaan koko sivuttaisvoima kohdistuisi runkoon yhden tukivarren kautta.

Normaalissa ajotilanteessa, pois lukien törmäykset kiinteisiin esteisiin, suurin mahdollinen kaarteissa tai sivuttaisluisissa syntyvä sivuttaisvoima on sama kuin hydrokopterin kaatava voima tukipisteen ollessa ponttonin uloin reuna.

$$F_{sivu} = \frac{mgl}{h} = 26700N$$

jossa

$$m = massa = 2400kg$$

$$g = putoamiskiihtyvyys = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$l = puolileveys = 1,25m$$

$$h = painopisteen korkeus = 1,1m$$

(kaava 2)

### 5.3 Mitoitustyökalut

Sekä runko että ponttonit päätettiin mitoittaa VTT:n työveneoheistuksen mukaan ja korjata mitoitusta tarpeen mukaan. Tukivarret mitoitetiin yksinkertaisesti suurinta vääntöä ja kiertoa vastaaviksi. Tukivarsien mitoituksessa ei käytetty mitään varmuuskerrointa, vaan varmuuden todettiin muodostuvan suurimman voiman määritelmästä.

### 5.4 Rakenteen erityisvaatimukset

Rungon mitoituksessa joudutaan ottamaan veden dynaamisen paineen ja jäiden aiheuttamien iskujen lisäksi huomioon tukivarsien kiinnityskohtien aiheuttamat kierto-, vääntö- ja sivuttaisvoimat. Tasapohjaisuus aiheuttaa haasteita riittävän kiertojäykkyyden saavuttamiselle. V-pohjan ja turkin väliin ei synny luonnollista jäykistettä tavanomaisten liukuvien veneiden tapaan.

Koska painopiste halutaan pitää matalalla ja toisaalta potkurin edessä oleva rakenne mahdollisimman pienenä, ei sisälattiaa voida nostaa määrättömästi. Tällöin risti- ja viistotukien asentaminen tukivarsien väliin ei ole mahdollista lattian alla.

### 5.5. Lujuushierarkia

Lujuushierarkia on aina merkityksellinen useista osista koostuvassa kokoonpanossa. Hydrokopterin osalta on luontevaa mitoittaa tukivarret alimmaiseksi, jolloin rajat

ylittävässä rasiutilanteessa ainoastaan tukivarret myötävät, eikä koko runko vaurioidu.

Rungon osalta tavoite on, että pohjaan kohdistuva isku aiheuttaa pohjalevyn ja mahdollisesti kohdalla olevan jäykisteen muodonmuutoksen, mutta ei vuotovauriota tai laajempaa muodonmuutosta.

Ponttoni voidaan ajatella itsenäisenä, eivätkä siihen kohdistuvat iskut ja väännöt koskaan etene runkoon sellaisinaan, vaan jousituksen vaimentamina ja tukivarsien kautta. Jousituksesta johtuen myös ponttoniin tulevat iskut vaimenevat verrattuna jäykkään rakenteeseen.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET PROTOTYYPIN KOEAJOJEN PERUSTEELLA

Prototyypin ensimmäisissä koeajoissa selvisi, että Arctic Airboat nousee suunnitellusti liukuun ponttonien varaan ja saavuttaa 39 solmun huippunopeuden. Ponttonit ylhäällä ajaen huippunopeus jäi 25 solmuun. Rajoittava tekijä ponttonit ala-asennossa ajettasessa oli rungon pituus, ei konetehto. Liukuun lähtö kesti pitkään ja trimmikulma nousi erittäin suureksi ennen liukuun lähtöä.

Kantavuuden vähentäminen ponttonien takaosasta, huippunopeuden parantamiseksi, hidasti liukuun nousemista odotetusti. 350 kilogramman painonylityksen vaikutusta on vaikea arvioida tarkasti, mutta sen täytyy olla merkittävä kokonaispainon ollessa 2400 kg.

Jousitus toimi hyvin ja siitä oli selkeä hyöty myös vedessä ajettaessa. Minkäänlaista pomppimista tai heilumista ei havaittu, vaikka erillisiä iskunvaimentimia ei käytetty. Jousitus ja korkeudensäätö toimivat moitteettomasti, mutta operatiiviseen käyttöön aivan liian hitaasti. Ponttonien nostaminen ala-asennosta maksimikorkeuteen kesti yli kaksi minuuttia. Säätomatka jäi myös suunniteltua pienemmäksi asennustoleranssien ja kiinnikkeiden vaatiman tilan takia.



Staattinen kellunta-asento oli ponttonit yläasennossa kaksi astetta enemmän perällä, kuin oli suunniteltu. Tämä johtui suurimmaksi osaksi painon ylityksestä. Vaikka painopisteen pitkittäinen paikka oli suunnitellulla kohdalla, ylipaino trimmasi hydrokopteria perälleen, takaa lyhennettyjen ja edessä rungon etupuolelle ulottuvien ponttonien takia. Ponttonit ala-asennossa trimmi oli vielä selvemmin takapainoinen.

Ohjailtavuus hitaassa vauhdissa oli tarkka, eikä hydrokoptereille ja ilmatyynyaluksille tyypillistä ”leijumista” havaittu ponttonien ollessa laskettuna. Liukunopeudessa Arctic Airboat kulki rauhallisesti ja suoraviivaisesti eikä tarvinnut aktiivista ohjaamista.

Isoihin veneen peräaaltoihin ajettaessa ei tapahtunut mitään, vaan ponttonit vaimensivat rungon liikkeet todella pieniksi. Edes koko kopterin irtoaminen vedestä aaltoon ajettaessa ei aiheuttanut yllätyksiä; hydrokopteri laskeutui tasaisesti jousituksen ja kapeiden ponttonien vaimentaessa alastulon lähes huomaamattomaksi.

Kaarreominaisuudet olivat odotetun kaltaiset ja kopteri kallistui kevyesti ulkokaarten suuntaan. Täydestä vauhdista kääntötesti jätettiin tekemättä, koska ponttonien yläreuna oli lähes vedenpinnan tasossa ja pystysuora ulkokylki ei toisi lisänostetta ulkokaarten puoleiseen ponttoniin. Toisin sanoen Arctic Airboat olisi mahdollisesti kaatunut maksimikäännöksessä.

Rakenteessa ei havaittu mitään ongelmia ja runko oli suunniteltua korkeammasta huippunopeudesta huolimatta riittävän jäykkä eikä minkäänlaista elämistä havaittu. Tärinän vaikutuksesta osa sisäkuoren tulppahitseistä aukesi, samoin potkurihäkin katkohitsejä aukesi tärinässä. Tulppahitsit eivät olleet riittävän hyvälaatuisia ja olivat käytännössä kiinni ainoastaan jäykisteissä. Potkurihäkin katkohitsit oli hitsattu ainoastaan 3/10 matkalta, vaikka olisi pitänyt hitsata vähintään 6/10 matkalta.

Ollessa yläasennossa on ponttonit reilusti vedenpinnan yläpuolella. Tämä mahdollisti kahden miehen toimimisen ponttonin päällä kuivin jaloin. Ollessa ala-asennossa ponttonit toimivat myös työskentelytasoina, mutta kuivin jaloin ei enää päässyt

ponttonin takaosaan asti. Kävi selväksi, että pelastus tehtäviä varten tarvitaan lisää kahvoja ja kaiteita.

## 6.1 Muutokset ensimmäisten koeajojen perusteella

Ensimmäisten koeajojen perusteella ponttoneihin hitsattiin 800 mm jatkot, minkä jälkeen ponttonit jatkuivat peräpeiliin asti. Staattinen kellunta-asento parani ja liukuunlähtö nopeutui selvästi. Huippunopeus laski 36 solmuun.

Paineilmajärjestelmä uusittiin siten, että sähkökäyttöinen kompressori vaihdettiin kiilahihnavetoiseen, jonka ilmantuotto oli suurempi. Myös palkeet vaihdettiin kokoa suurempiin säätövaran ja maavaran kasvattamiseksi. Muutoksen seurauksena ponttonien nosto ala-asennosta yläasentoon kesti vain muutaman sekunnin ja isoa painesäiliötä ei tarvittu.

Ponttonien päällä oleskelu helpottui entisestään uusien kahvojen ja parantuneen kellunta-asennon ansiosta. Nyt myös ala-asennossa olevien ponttonien yläreuna oli pinnan yläpuolella.

## 6.2 Jääkoeajot

Jääkoeajoja varten ponttonit pinnoitettiin ensin PE-UHMW-levyllä, joka kiinnitettiin ruuvaamalla alumiiniin. Ponttonin monimutkaisesta muodosta johtuen pinnoitus osoittautui hankalaksi ja lopputulos ei tyydyttänyt ulkonäöllisesti. Ponttoneihin kiinnitettiin myös 500 mm pitkät teräskiskot sivuttaispidon ja ohjattavuuden parantamiseksi jäällä.

Jäällä jousitus toimi hyvin ja keskirunko ei altistunut iskuille. 200 mm maavara keskirungon alla oli riittävä epätasaisellakin jäällä. Tasaista pohjaa ponttonit yläasennossa käyttäessä nouseminen pettevien jäiden päälle ei tuottanut ongelmia. Kovalla jäällä etenemiseen riitti kevyt pintakaasu ja nopeudelle ei lähdetty etsimään ylärajaa. Ajo epätasaisella jäällä väänsi ponttonien kevytrakenteiset jatko-osat

nopeasti käyttökelvottomiksi. Myös varsinainen ponttoni sai kylkiinsä pahoja lommoja, vaikka pysyikin ehjänä ja vesitiiviinä.

Ohjattavuus oli aluksi rajusti yliohtava, koska ponttoneissa olevat terät olivat sekä liian edessä että liian lyhyet. Terät vaihdettiin 1200 mm pitkiin ja siirrettiin painopisteen kohdalle. Tämän muutoksen jälkeen Arctic Airboat ohjautui jäällä loogisesti ja tarkasti. Ohjaaminen ja kääntyily oli mahdollista pienessä tilassa pienen sivuttaisluston ansiosta. Kopteri kääntyi 180 astetta ympäri paikallaan ponttonit nostettuina.

### 6.3 Uudet ponttonit

Koeajoen pohjalta päätettiin ponttonit uusia kokonaan. Tavoitteena oli saavuttaa sekä paremmat vesiominaisuudet että vankempi rakenne, joka kestäisi jäiden raskuudet. Vesiominaisuuksista haluttiin liukuunlähtöä nopeuttaa ja ajettavuudesta saada venemäisempi. Myös kaarreominaisuuksia ja kellunta-asentoa haluttiin parantaa. Ponttoneita levennettiin huomattavasti, jolloin myös niiden tilavuus kasvoi.

Uudet ponttonit suunnitteli venesuunnittelija Olli Ahtiluoto, ja ne olivat vanhoista poiketen v-pohjaiset taakse asti ja muuttuva v-kulma oli edestä erittäin jyrkkä. Ponttonit olivat kokonaisuudessaan 150 mm leveämmät. Myöskään ulkokylki ei ollut pysty. Ponttonit tehtiin suoraan rungon mittaisiksi ja edestä samaan mittaan kuin vanhat. Ponttonin sisäisivulla oli porrassärmä parantamassa suorituskykyä liukuvauhdissa.

Uusilla ponttoneilla ohjailtavuus parani ja käytös muuttui venemäisemmäksi hitailla nopeuksilla. Huippunopeus laski huomattavasti. Nopeuden lasku johtui pääasiassa ponttonien dynaamisen nosteen pienenemisestä, nostokeskiön siirtymisestä taaksepäin ja lisääntyneestä painosta ja märkäpinta-alasta. Myös porrassärmä ponttonin sisäisivussa oli täysin turha, koska täydessä vauhdissa ponttonin yläreuna oli vesirajassa ja koko keskirungon pohja vedessä. Ohjailtavuuden paranemisesta osa

selittyy pienemmällä nopeudella ja osa ohjattavuuden kannalta paremmalla muodolla.

Uusilla mitoilla tehtiin myös yksi polyeteeniponttoni, joka oli muuten vastaava kuin alumiiniset, mutta porrassärmä sisänurkasta jätettiin pois. Ponttonilla haluttiin lähinnä testata materiaalin soveltumista jääajoon. Muoviponttoni oli lähes 100 kg kevyempi kuin alumiininen.

HD-polyeteeni kesti jäiden aiheuttamat rasitukset ilman vaurioita, mutta painui lommoille jäykisteiden välistä. Hydrokopterin ollessa paikallaan lämpimässä tasaisella alustalla muoviponttoni palautui lähes alkuperäiseen muotoonsa. Pieniä muodonmuutoksia ei koettu ongelmallisiksi, mutta tavallinen HD-500-polyeteeni osoittautui liian naarmuuntumisherkäksi. Ero UHMW-polyeteeniin oli huomattava. UHMW-polyeteenin hitsaaminen ei ole mahdollista, joten ponttonia ei voitu tehdä siitä.

## 7 YHTEENVETO

Hydrokopterin tuotekehitysprojekti kesti tämän opinnäytetyön käsittelemältä osalta kaikkiaan yli neljä vuotta, se oli alkanut jo kaksi vuotta aiemmin ja jatkuu edelleen tämän työn valmistumisen jälkeen.

Projektin aikana kehitettiin useita ratkaisuja, joita ei vielä ole kokeiltu ja tutustuttiin laajasti uusiin materiaaleihin ja menetelmiin, joita ei Suomessa vielä yleisesti käytetä. Materiaalien ja ammattitaitoisten tekijöiden löytäminen osoittautui monesti rajoittavaksi tekijäksi prototyypin suunnittelussa, ja materiaalivalintoja jouduttiinkin tekemään saatavuuden mukaan.

Konseptisuunnittelussa suurimmaksi kysymykseksi nousi eri olosuhteiden vaatimien ominaisuuksien ristiriitaisuus ja niiden sovittaminen samaan laitteeseen. Jousitetuin ponttonein varustettu ratkaisu osoittautui hyväksi, ja samaa perusrakennetta voidaan räätälöidä asiakkaalle, pääasiallisen käyttöympäristön mukaan, vaihtamalla ponttonit

erilaisiin. Vesi-, jää- ja lumiominaisuuksien yhteensovittaminen tulee jatkossa olemaan tärkein kysymys tuotteen menestymisen kannalta.

Prototyypistä tuli toimiva ja rakenteellisesti hienostunut, mutta toteutuksen kannalta aivan liian kallis. Tarkoituksena oli rakentaa testialusta, josta tehdään monin tavoin äärimmäinen ja haetaan rajoja. Tässä onnistuttiin ja tuotantomallin suunnittelulle saatiin huomattavasti paremmat lähtökohdat kuin prototyypillä oli projektin alkuvaiheissa.

Prototyypipivetoinen suunnittelu alkaa olla koneenrakennuksessa vanhanaikaista, mutta pienyritykselle, joka joutuu hankkimaan itse rahoituksensa, lähes ainoa mahdollisuus. Myös käyttöympäristön aiheuttama haasteellisuus puolsi prototyypin rakentamista, koska perinteisin suunnittelumenetelmin aluksen käyttäytymistä olisi ollut lähes mahdotonta ennakoida vertailukohteiden puuttuessa. Mikäli resursseja olisi ollut riittävästi, suuri määrä laivanrakentajan arvauksia olisi voitu korvata numeerisella virtauslaskennalla ja simuloinnilla.

Lopputuloksena saatiin prototyyppi, joka toimi pääkäyttökohteissaan lumella ja jäällä loistavasti. Samalla se on vedessä huomattavasti nopeampi ja taloudellisempi kuin perinteiset Pohjoisamerikkalaiset *airboatit*. Prototyypin perusteella luotiin nopealla aikataululla tuotantomalli, jonka ensimmäiset toimitukset asiakkaille alkavat tämän työn ilmestymisen aikaan.

## LÄHTEET

Patrakka, K. Puhelinhaastattelu, 2006: Merenkululaitos

Vehviäinen, P. Sähköposti ja puhelinhaastattelu 4.1.2006: Kainuun pelastuslaitos

Pirinen, L. Haastattelu 2006. Kuopio: Pohjois-Savon pelastuslaitos

Santaharju, P. Haastattelu 2008. Helsinki: PK-Santaharju oy

Räikkönen, T. Puhelinhaastattelu 2006: HT-lasertekniikka oy

Wikipedia the Free Encyclopedia. 16.5.2007. Saatavissa:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Airboat#cite\\_ref-4](http://en.wikipedia.org/wiki/Airboat#cite_ref-4)

Karjalainen. 28.1.2008 s. 5

Tiilikainen, H. 1998. Suomen sotilas 2/98 s. 24

Tuuri, A., Salo, L. 2005. Teemahaastatteluraportti. Oppilastyö 7.12.2005 Kouvola: KyAMK

Kainulainen, A., Manninen, M., Perkiökangas, T. 2006. Teemahaastatteluraportti. Oppilastyö 7.12.2005 Kouvola: KyAMK

Toppi, A., Isakow, E. 2005. Teemahaastatteluraportti. Oppilastyö 2005 Kouvola: KyAMK

Kujanpää, I., Määttänen, M. 2005. Teemahaastatteluraportti. Oppilastyö Kouvola: KyAMK

Aulin, A., Relander, A. 2005. Teemahaastatteluraportti. Oppilastyö 7.12.2005 Kouvola: KyAMK

Tieliikennelaki 3.4.1981/267

Merenkululaitoksen ammattiveneohjeisto Saatavissa:

<http://virtual.vtt.fi/virtual/fmav2009/fi/index.htm>

Nurmi, T. 1998. Uusi suomen kielen sanakirja. Helsinki: Gummerus